ثمرات من دوحة المعرفة



ما الجينات؟

شارل أوفراي

ترجمة:
عبد الهادي الإدريسي



ثمرات

من دوحة المعرفة

شارل أوفراي

ما الجينات؟

ترجمة:

عبد الهادي الإدريسي

مراجعة:

د. فريد الزاهي



الطبعة الأولى 1433هـ 2012م

QH442 .A9412 2012
Auffray, Charles.
[Qu'est-ce qu'un gene?]
مـا الجينات ؟ / تأليف شـارل أوفـراي : ترجمــة عبد الهادي الإدريسي : مراجعة فريد الزاهي- أبوظبي: هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة، كلمة، 2012.
ص 81 : 10×16 سم.
(سلسلة ثمرات من دوحة المعرفة)
ترجمة كتاب: Qu'est-ce qu'un gene?
تدمك: 978-9948-17-031-0
1 - الوراثة، علم. 2 - الجينات.
3 - الهندسة الوراثية.
أ-إدريسي، عبد الهادي. ب-زاهي، فريد.

يتضمن هذا الكتاب ترجمة الأصل الفرنسي:
Charles Auffray
Qu'est-ce qu'un gène ?
Copyright © Le Pommier, 2004



www.kalima.ae

ص.ب: 2380 أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة، هاتف: 451 6515 2 971+ فاكس: 127 6433 2 71



ما الجينات؟

المحتويات

مقدمة

لقد أصبح علم المورثات خلال السنوات الثلاثين الماضية حاضراً بقوة في الحياة الاجتماعية وفي وسائط الاتصال.

في المجال القانوني تطلع علينا قصاصات الأنباء في كل يوم بجديد في شأن الدّور الذي صارت اختبارات علم الوراثة تضطلع به في إمداد القضاء بالحجج الدامغة التي تتيح تبرئة المتهمين أو إدانتهم. ذلك أن آثار الحمض النووي، التي لا بد أن يبقى منها شيء في مكان الجريمة، تدل على صاحب الحِمْض بما لا يدع مجالاً للشك. وهذه الاختبارات الجينية هي ذاتها التي استعملوها للتثبت من هوية أفراد الأسرة المالكة الروسية الذين قتلهم الثوار البلشفيون، مما أتاح في الوقت ذاته إثبات كذب الرواية التي تدّعي نجاة الأميرة أنستاسيا من المذبحة.

أما في فرنسا فإن مثل هذه الاختبارات مؤطرة قانونياً، بحيث لا يُسمح بإجرائها خارج النطاق الطبي والقانوني، ويُحظر على المشغلين وأصحاب شركات التأمين اللجوءُ إليها. والسبب في ذلك أن هؤلاء قد يستعملون المعطيات الجينية بطريقة تفضي إلى تمييز بين الناس لا مبرِّر له. قد يرفض رب العمل تشغيل شخص معين إذا اطلع على معطياته الجينية وظهر له منها أنه مؤهل للإصابة ببعض الأمراض، وقُلِ الشيء نفسه عن المؤمِّن الذي قد يطلب اعتماداً على تلك المعطيات أقساطاً مرتفعة مقابل التأمين. وقد أسهم هذا التأطير في التخفيف من حدَّة المخاوف التي تم التعبير عنها خلال مناقشة قوانين أخلاقيات البيولوجيا، التي جرى التصويت عليها ثم تعديلها مؤخراً في البرلمان الفرنسي.

ليس الأمر كذلك في ما يخص الأغذية المعدَّلة وراثياً، التي كانت موضوعاً للكثير من النقاش

داخل فرنسا وخارجها، وهو نقاش جمعَ بين المختصين والمواطنين العاديين، لكنه لم يفض حتى الآن إلى اتفاق. ثمة فريق يدافع عنها وعن إدماجها في السلسلة الغذائية، مؤكداً ألاَّ شيء يُخشى من استهلاكها، وفريق يعارض ذلك أشد المعارضة باسم مبدأ الحذَر، وينظِّم حملات لاقتلاع النباتات من المزارع التجريبية، تصاحبها تغطية إعلامية كبيرة.

في فرنسا يجري في كل سنة تنظيم برنامج تلفزيوني مطوَّل يشارك فيه الملايين من أجل التعاون على مقاومة الأمراض الجينية، وهي فرصة لنشر الوعي بين الجمهور الواسع بضرورة المشاركة في تطوير البحث في هذا المجال العلمي. والحق أن هذا البحث يتقدم بخطوات واسعة سنة بعد أخرى، وخصوصاً بفضل برنامج «الجينوم البشري» أو «الخريطة الجينية البشرية»، هذا البرنامج الدولي الكبير الذي كثيراً ما يُنظر إليه على أنه يقابل، في

مجال البحث الجيني، برنامج أبوللو الفضائي الشهير في مجال استكشاف الفضاء. وقد كان المدافعون عنه لدى السلطات العمومية يؤكدون بأنه لن يمضي عليه زمن طويل حتى يفضي إلينا بأسرار عن هويتنا البيولوجية تفتح لنا سريعاً أبواب طرق جديدة للعلاج من الأمراض المختلفة. ولم يمض عقْدان من الزمن على ذلك حتى استطاع العلماء بالفعل إعداد صورة متكاملة عن الخريطة الجينية البشرية ومثيلتها لدى بعض الكائنات الحية الأخرى، بل زادوا على ذلك فحدَّدوا بعض الطفْرات الجينية المسؤولة عن المئات من الأمراض المتوارثة جينياً، مثل التهاب العضلات المزمن وأمراض الغدد المخاطية وفقر الدم الوراثي وغيرها. وبفضل ذلك أصبح بالإمكان اليوم إجراء اختبارات تتيح اكتشاف هذه التحولات قبل الولادة بل وفي بعض الأحيان قبل الحمل، مما يمكِّن من اتخاذ بعض الإجراءات الاحترازية. كما

شرعوا حالياً في اختبار وسائل لنقل بعض الجينات لدى الإنسان لغايات علاجية، في ما أصبح يسمى العلاج الجيني.

لكن وسائل الإعلام تطالعنا من حين لآخر بأخبار عن اكتشاف المورث المسؤول عن انفصام الشخصية أو الشذوذ الجنسي أو السمْنة، هذا إذا لم تعد إلى اجترار الخرافة القديمة، خرافة جينات الإجرام. والحق أن مثل هذه الأخبار لا يفيد سوى في زرع المزيد من الشك في النفوس. وقد قمت، أثناء إعدادي للثمرة التي بين أيديكم، بزيارة للمواقع الإلكترونية حيث أدخلت تعبير «المورث الجيني المسؤول عن...»، فوجدت نفسي أمام كم هائل من الصفحات والوثائق من جميع الأنواع، من أخبار وكالات الأنباء إلى المقالات المختصة، مروراً بالملفات الإعلامية وانتهاءً بالكتب الموجهة إلى الجمهور العريض. ومن يطالع تلك الكتابات

يجد فيها أحاديث عن مورث الإحساس بالجوع أو بالشبع، ومورث العمر الطويل أو حتى الخلود، ومورث الكلام أو القدرة على: التعليم، الإخلاص، العلاقات الاجتماعية، الشك، الإبداع، الغباء، الفتنة، البرمجة، التنافسية، العنف، الانتحار، الألم، ارتفاع الضغط، الرياضيات، الموهبة الفنية، أو الحرية الأكاديمية.

لا جدال في أن كماً هائلاً من هذه المنشورات حرِيٌّ بأن يبث دواعي الريبة والإبهام في النفوس، إذ تجعل من يطالعها عن غير بيِّنة يعتقد أن المورثات الجينية تقرر كل شيء في حياتنا، من أكثر خصائصنا البيولوجية بساطةً إلى أشد سلوكاتنا الاجتماعية والثقافية تعقيداً، وتتحكم بذلك في شكلنا الخارجي كما تتحكم في مزاجنا ومرضنا وصحتنا، بل وفي أخلاقنا. هذا الوضع يطرح مجموعة من التساؤلات. ما هي إذن طبيعة المورث الجيني؟ وما هي حقيقة

الكائن الذي يختفي وراء هذا الاسم؟ وهل يبقى المفهوم هو نفسه لا يتغير حين يدور الحديث في سياقات مختلفة أشد الاختلاف؟ ما مدى مشروعية إيلاء المورثات الجينية هذا الدور الكبير في اشتغال الأنساق البيولوجية؟ إلى من تعود ملكية الجينات؟ وهل لنا أن نتناول الجينات بالتعديل والتغيير لننتج نباتات وحيوانات معدلة جينياً؟ هل في ذلك خطر على الصحة وعلى البيئة؟ هذه هي التساؤلات التي سأحاول الإجابة عليها بمساعدة بعض الأمثلة.

علم المورثات يرى النور في بستان ديْر

في 1865، تقدم راهب من ديْر برنو Brno في مورافيا إلى جمعية التاريخ الطبيعي المحلية ببحث حول موضوع انتقال الخصائص الوراثية في نبات الجلبان العطري. لقد أجرى الراهب، ويدعى جريجور مندل Gregor Mendel، سلسلة طويلة من الملاحظات الدقيقة للخصائص المرئية (من مظهر أمْلس أو مجعد، ولون أخضر أو أصفر)، وكيفية انتقالها بعد المزاوجة بين أنواع مختلفة من ذلك النبات، وخرج بخلاصةٍ مؤداها أن الخصائص المختلفة تظهر وتختفي على مر الأجيال المستنبتة. فلما قام بتتبُّع كل واحدة من تلك الخصائص وجد أنها في كل مرة تظهر بنِسب محدَّدة لا تتغيَّر. ومن أجل شرح ذلك تقدم مندل بفرضية وجود عامل يمثل الوحدة الأولية للوراثة، يوجد في نسختين

اثنتين في الجلبان. وهذان العاملان قد يكونان من النوع نفسه، وفي هذه الحال تكون كل الأجيال التالية من نوع واحد. أما إذا كان العاملان مختلفين، فإن أحدهما يهيمن على الآخر ويرغمه على الاختفاء. وإذا زاوجنا بين نبتتين تحمل كل منهما هذا العامل مختفياً، فإنه يظهر في الجيل التالي. بيد أن هذا العمل، الذي أنجزه مندل فأرسى به أسس علم جديد هو علم الوراثة، لم يعلم به حينئذ سوى عدد قليل من المختصين الذين لم يقدِّروه ساعتها حق قدره.

كان من اللازم انتظار عام 1900 كي يعيد بعض علماء النبات اكتشاف القواعد العامة ذاتها في ظروف أخرى، وهي القواعد التي أصبحت تُعرف اليوم باسم «قواعد مندل». وقد كان الدانمركي ولهلم جوهانسن Wilhelm Johannsen هو من أطلق في 1905 اسم الجينات على عوامل مندل، وقد

اشتق الاسم من اللفظة اليونانية genea التي تعني الجيل، كما أطلق على العاملين المختلفين (**المهيمن والمتنحي**) اسم allèle بمعنى المناقض أو المضاد. والمضادان معاً يشكلان ما يعرف باسم génotype، أي **الطراز العرقي**، بمعنى التركيبة الوراثية، وهي التي تحدِّد **الخصائص المرئية** phénotype. وقوانين مندل تصف القواعد التي تحدد هذه الخصائص حسب تركيبة الأضداد خلال انتقالها من جيل إلى جيل. بذلك يكون علم الوراثة الذي أسسه مندل علماً يهتم بملاحظة الخصائص المرئية، وفي الآن نفسه تقعيداً تصورياً لكائنات غير مرئية هي الجينات التي تتكون منها التركيبة الوراثية.

الصبْغيات chromosomes تدخل على الخط

بيد أن قوانين مندل لم تجد قبولاً لدى المجتمع العلمي بأكمله، بل إن الكثير من العلماء، ومنهم عالم الأحياء الأمريكي توماس مورغان، رفضوا في البدء التسليم بأن انتقال الخصائص الوراثية يتم عبر عامل داخلي، معتقدين أن انتقال الخصائص عبر الأجيال إنما يتم بفعل أثر البيئة المحيطة. وهنا نجد عناصر الجدل حول نصيب كل من الموروث والمكتسب في الخصائص التي يحملها الكائن الحي، وهو جدل لا يزال قائماً حتى اليوم كما سنرى ذلك.

كانت ذبابة الخل هي النموذج الذي اختاره مورغان لإجراء تجاربه، وقد رسم لنفسه هدفاً محدَّداً وهو إثبات خَطل قوانين مندل، وذلك بتغيير خصائص الذباب المستولد عبر تعريض جيل الآباء

لتأثير مواد كيماوية، لكن معالجته الكيماوية للذباب كانت أشد عنفاً مما يستطيع هذا تحمُّلَه فمات أغلبه. لكن أحد التلامذة لاحظ وجود ذبابة بأعين بيضاء وسط باقي الذباب، فكان ذلك أول مثال من سلسلة من الطفرات الوراثية في الخصائص المرئية، التي سينكب مورغان وتلامذته على دراستها، منها شكل الأجنحة. فلما تتبعوا تلك الخصائص وجدوها، لدهشتهم، تبرز وتختفي حسب ما تتنبأ به قوانين مندل بالضبط، مما يدل على صحة تلك القوانين وعلى انطباقها على الحشرات كما تنطبق على النبات، فلم يجد العالم وتلامذته سوى أن يتبنَّوا بدورهم هذه القوانين.

ثم إنهم ما لبثوا أن أحرزوا تقدماً بارزاً في هذا المجال، إذ لاحظوا أن الجينات لا تنتقل من جيل إلى جيل بطريقة مستقلة بعضها عن بعض، بل تتصرف كما لو أنها تنتمي إلى مجموعات. ليس هذا

فحسب بل لاحظوا كذلك أن تلك المجموعات تقابل بالضبط الأجسام الملونة التي سبق أن لاحظها العلماء في نواة الخلية وأطلقوا عليها لهذا السبب اسم **الصبْغيات**. ولاحظوا على وجه الخصوص أن الجنسين يتميزان بزوج من الصبغيات يختلف عند أحدهما عنه عند الآخر، ينتقلان من جيل إلى جيل تماماً كما تنتقل خاصية لون العينين. وذلك ما أتاح لمورغان وتلامذته أن يقيموا الدليل على أن الصبغيات هي التي تحمل الجينات، مما أعطى لهذه الأخيرة كياناً مادياً. ثم أفضت بهم ملاحظة الطريقة التي تنتقل بها المضادات الموجودة في كل صبْغية، أفضت إلى اكتشاف أن تلك المضادات تنتظم دائماً في ترتيب معين أحدها خلف الآخر، وهو ما أتاح لهم أن يرسموا في 1913 أُولى الخرائط الجينية الخاصة بذبابة الخلّ.

علم الوراثة يصبح واحداً من علوم الجزيْئات

جاءت بعد ذلك أعمال عدد من الباحثين في علم الأحياء لتثبت أن ما يصح في حق الجلبان وذبابة الخل يصح في حق الأحياء جميعاً، من أكثرها بساطة مثل البكتيريا والخمائر إلى أشدها تعقيداً مثل الحيوان والنبات. وتتركب الصبغيات من عدد من البروتيناِت ومن **الحمض النووي**، وهي مادة حمضية اكتشفها عالم الأحياء السويسري فريدرش مييشر Friedrich Miescher عام 1869 في نواة الخلية، فسماها حمْضاً بالنظر إلى طبيعتها الكيميائية، لكن لم يكن أحد يعرف آنذاك تركيبتها ولا دورها في الحياة. والسؤال الذي طُرح حينئذ هو المتعلق بمعرفة أيِّ المكوِّنين يحمل الجينات، البروتينات أم الحمض النووي. ثم جاء عام 1944، فراح أوزوالد أفري

Oswald Avery وزميلاه ماكلين ماكارثي Maclyn McCarty وكولين ماكليود Colin McLeod من معهد روكفلر في نيويورك، لإقامة الدليل على أن الحمض النووي هو الذي ينقل الخصائص من جيل من البكتيريا إلى آخر، بمعنى أنه هو حامل الجينات. ويتألف الحمض النووي من وحدات كيميائية بسيطة يسمونها **نوكليوتيد** nucléotide (وهي كلمة منحوتة تحمل معنى «الشيء الذي يشبه النواة»)، تتكون كل واحدة منها من مركّب سكري وآخر قلوي يحتوي على النيتروجين وثالث من الفوسفات. وهناك أربعة أنواع منها يتميز كل منها عن غيره حسب المركب القلوي الذي يحتويه: فهناك الأدينين adénine الذي يُرمز إليه بحرف A، والثيمين Thymine الذي يُرمز إليه بالحرف T والسيتوزين Cytosine الذي يرمز إليه بالحرف C وأخيراً الغوانين Guanine الذي يرمز إليه بالحرف

G. ويظهر من هذا أن تركيبة الحمض النووي الكيميائية بسيطة وأقل تعقيداً من نظيرتها في البروتينات التي تكوِّن معها الصبغية، والتي تتركب من عشرين حامضاً أمينياً. وقد اتخذ بعض الباحثين من ذلك دليلاً على أن الحمض النووي أبسط تركيباً من أن يحمل وحده الجينات، بل وذهبوا إلى حد الإصرار على أن التجارب التي أجريت على الحمض النووي وحده لا يمكن الاعتداد بنتائجها لأن هناك لا شك جزيْئات من البروتين قد اختلطت بجزيئات الحمض النووي رغم حرص الباحثين على إحكام العزل والتحقق من عدم إمكان الاختلاط.

بذلك كانت المسألة المركزية في علم الوراثة الجينية في منتصف القرن العشرين تتعلق بمعرفة تركيبة الحمض النووي معرفة دقيقة تتيح إثبات أو نفي قدرته على نقل الجينات. وجاء عام 1952 فاستطاعت البريطانية الشابة روزاليند فرانكلين

Rosalind Franklin الحصول على صور ذات جودة عالية لبلّورات الحمض النووي، عبر طريقة الانعكاس المنحرف للأشعة السينية، استنتجت منها أن بنية الحمض تتشكل من سلسلتين من الوحدات المتتابعة تمضيان في التواءٍ إحداهُما حول الأخرى على شكل الأثر الذي تتركه المروحة في الماء. وكِلتا السلسلتين تتكون من مقاطع متتابعة من النوكليوتيد، بحيث تكون المكونات القلوية في داخل السلسلة الملتوية وذرات الفوسفات في الخارج. وهذا كان يتعارض مع النظرية التي تقدم بها الأمريكي لينوس باولينغ **Linus Pauling**، الذي اكتشف بنيات على شكل أثر مروحة في البروتينات واقترح نموذجاً للحمض النووي يقوم على ثلاث سلاسل ملتوية حول بعضها، مع المركَّب القلوي في الجهة الخارجية. بيد أن روزالين فرانكلين لم تستطع تحديد كل تفاصيل البنية المزدوجة، لأنها لم تكن

تتوافر آنذاك على الأدوات الرياضية اللازمة.

أما الأمريكي الشاب جيمس واطسون James Watson فقد اقتنع من جهته، إثر قراءة مقالات أفيري، بأن الحمض النووي هو الذي يجب الانكباب على دراسته، لا البروتين، من أجل استكشاف أسرار الوراثة. ذلك ما جعله يحمل النتائج التي توصلت إليها فرانكلين ويذهب بها إلى فرنسيس كريك Francis Crick، وهو خبير بريطاني في البلّورات يختص في البروتينات وعلى وجه الخصوص في المعالجة الرياضية للرسوم البيانية المتحصِّلة عبر طريقة الانعكاس المنحرف للأشعة السينية. وسرعان ما توصل الرجلان إلى إقامة نموذج لبنية الحمض النووي أكثر دقة وتفصيلاً من نموذج فرانكلين، في صورة شريطين ملتفين على شكل أثر المروحة يتخذان اتجاهين متعاكسين، ويرتبط كل منهما بالآخر عبر التصاق المكونات

القاعدية اثنين اثنين، حيث يرتبط المكون A بالمكون T والمكون C بالمكون G. وقد استنتجا سريعاً من هذا النموذج الطريقةَ التي تتمكن بها الجينات من استنساخ نفسها خلال انقسام الخلايا، إذ تبيَّن لهما أن التكامل ما بين الشريطين الملتفَّين حول بعضهما يتيح لكل منهما أن يكون بمثابة الرَّحِم التي يتم فيها تركيب الآخر. وقد كان في هذا خير دليل على صحة نظرية أفيري، إذ ثبت أخيراً أن مادة الجينات من الحمض النووي لا من البروتين.

سرُّ الشفرة الوراثية يظهر للعيان

مع المقالات التي نشرت في 1953 عن بنية الحمض النووي، صارت الجينات رسمياً كائناتٍ ماديةً تضطلع بمهمة نقل المعلومات الوراثية من جيل إلى جيل. وككل آليات الكيمياء الحيوية فإن الاستنساخ يشتمل في بعض الأحيان على أخطاء، إذ يتضمن قاعدة خاطئة، وهو ما يفضي إلى وقوع طفرات وراثية. هكذا يتضح كيف تظهر بعض السمات الجديدة، إما بطريقة طبيعية وإما من أثر عامل من عوامل البيئة المحيطة، وهذه السمات قد تزيد من قدرات الجسم كما قد تنقص منها، كما يمكن أن تنتقل من جيل إلى جيل أو أن تختفي مع توالي الأجيال. بذلك يصح القول إن لبنية الجينات دوراً في تطور الأمراض الوراثية ولكن كذلك في ظهورها. ويبقى أن نفهم كيف تسهم الجينات

في اشتغال الأجسام الحية عبر التدخل في ظهور الخصائص التي ترتبط في الغالب بالبروتينات، من قبيل الأنزيمات والهرمونات. وبمعنى آخر فإن الأمر يتعلق بتحديد العلاقة القائمة بين المعلومة الوراثية الموجودة في جزيْئات الحمض النووي التي تكوِّن الجينات من جهة، وبين بنية البروتينات ووظيفتها من جهة أخرى.

في الستينيات من القرن الماضي توصَّل الباحثون إلى إثبات وجود شفرةِ تَقابُلٍ بين الترتيب في كل سلسلة من ثلاثة من النكليوتيد في الحمض النووي وبين كل من الأحماض الأمينية العشرين التي تكوِّن البروتينات. هذه الشفرة الجينية كونية أو تكاد، إذ ليس لها سوى استثناءات قليلة، وهي تتحكَّم في مجموعة من الآليات الكيميائية الحيوية التي تضطلع بنقل المعلومة الوراثية على شكل دفق ذي اتجاه واحد من الحمض النووي صوب البروتينات،

مروراً بالمرحلة الوسيطة المتمثلة في أحماض نووية أخرى هي المعروفة باسم RNA، وهي مثل الحمض النووي المعروف DNA إلا أنها ليست مثله منزوعة الأكسجين. وقد قام فرنسيس كريك، الذي كان أكبر ملهم لهذه الأشغال جميعاً، بجمع كل تلك المسلسلات مع الشفرة في ما أسماه **العقيدة المركزية في البيولوجيا الجزيئية**. هكذا، فخلال مسلسل كتابة كل واحد من الجينات تكون قطعة من الحمض النووي، تماماً كما الحال خلال الاستنساخ، بمثابة الرَّحم الذي يتم فيه داخل نواة الخلية تخليق قطعة أخرى لكن من الحِمْض المؤكسد RNA. وبعد سلسلة من التغيُّرات يجري نقل هذه القطعة البسيطة من الحمض المؤكسد إلى خارج الخلية لتصير رسولاً حاملاً للمعلومات الجينية الوراثية، ولذلك يطلقون عليه اسم **الحمض المؤكسد حامل الرسائل**. أما مسلسل الترجمة الذي يجري في السيتوبلازم أو رواء الخلية،

فيتمثل في قراءة ثلاثيات النكليوتيد التي يحملها الحمض المؤكسد، وتجميع البروتين المقابل لها حسب ما تُمليه قواعد الشِّفرة الجينية. وأما المسؤول عن تنفيذ كل ذلك فهي أجسام صغيرة في داخل الخلية اسمها **الريباسات** ribosomes، وهي نفسها تتكون من حمض مؤكسد ومن بروتينات.

وجاء عام 1962 فقامت أكاديمية نوبل بتكريم فرنسيس كريك وجيمس واطسون وموريس ويلكينس Maurice Wilkins أحد زملاء فرانكلين (التي توفيت في 1958) مكافأة لهم على «اكتشافاتهم في مجال البنية الجزيْئية في الأحماض النووية وأثر ذلك في نقل المعلومات داخل المادة الحية». وتلا ذلك في 1965 تكريم كل من فرنسوا جاكوب François Jacob وأندريه لووف André Lwoff وجاك مونود Jacques Monod مكافأة لهم على «اكتشافاتهم في مجال آليات تركيب الأنزيمات والفيروسات»،

وهي الاكتشافات التي ساهمت في شرح الطريقة التي يجري بها التحكم في نشاط الجينات. وأخيراً، في 1968، كَرِّمت الأكاديمية روبرت هولي Robert Holley وغوبيند خورانا Gobind Khorana ومارشال نيرنبرغ Marshal Nirenberg مكافأة لهم على «تفسيرهم للشفرة الجينية ووظيفتها في عملية تركيب البروتينات». هكذا، وبعد مرور قرن على البحث الذي تقدم به مندل وبقي مهملاً لزمن، أصبح علم الوراثة علماً قائماً على قواعد تصورية صلبة ومعترف بها، وصار من المسلَّم به أن الجينات قِطَع من الحمض النووي تحمل من جيل لآخر المعلومات الجينية التي تحتوي عليها، وذلك بفضل استنساخ نفسها، وهي العملية التي تتيحها البنية التكاملية التي تميز خيوط الحمض النووي، كما أنها تعمل، بواسطة الكتابة والترجمة، على تشفير البروتينات التي تتدخَّل في مسألة ظهور الخصائص المرئية.

هندسة الجينات والكائنات المعدَّلة جينياً

بعد أن تم تحديد الجينات وتعريفها بصفتها كائنات مادية تحملها جزيئات الحمض النووي، جاءت خلال العقدين التاليين مجموعة من التطورات المنهجية الساعية إلى عزلها وتحليلها. هكذا رأت **الهندسة الجينية** النور.

بدأ الأمر بالتمكن من تقطيع شرائط الحمض النووي إلى قطع صغيرة بواسطة أنزيمات يسمونها **أنزيمات الحصر** enzymes de restriction، وتنتجها أحياء دقيقة في دفاعها عن نفسها ضد الفيروسات. كما أن هناك أنزيمات أخرى تدعى **الأنزيمات اللاصقة** ligases تتيح إعادة إلصاق قطع الحمض النووي بعضَها ببعض من أجل إنتاج جزيئات من حمض نووي يسمى حينئذ **الحمض معاد التركيب**. بعد ذلك

تعلم الباحثون كيف يولِجون، بطريقة متحكَّم فيها، جزيئات من الحمض النووي معاد التكوين في بكتيريا أو في خمائر، علماً أن تلك الجزيئات تنتمي إلى أنواع أخرى من البكتيريا الحيوانية أو النباتية، وهو ما مكَّن من عزل الجينات بعضها عن بعض، علماً أن كل واحد من تلك الجينات يمكِّن بالإضافة إلى ذلك إعادة تخليقه عند تكاثر البكتيريا المضيفة. وقد كان في عملية الاستنساخ هذه ما مكن من دراسة الجينات دراسة دقيقة.

لقد أصبح الباحثون، بمساعدة مناهج فيزيائية/ كيميائية وأخرى من الكيمياء الحيوية، قادرين على تحديد الترتيب الدقيق الذي تتَّبِعه النكليوتيدات على طول جزيء الحمض النووي المكون للوحدة الجينية، والذي يسمونه **مقطعاً** séquence. فإذا عرفنا مقطع وحدة جينية معينة أمكننا أن نصنع عبر التركيب الكيميائي ما نشاء من جزيْئات الحمض

النووي، أي **الأوليغونوكليوتيد** oligonucléotides (أو «المكونات المشابهة الموسومة بالقلَّة») التي تكون مطابقة لجزء منه. وبالنظر إلى أن بنية الحمض النووي هي على شكل شريطين ملتويين، فإن هذه المكونات التركيبية يمكنها أن تتزاوج، عن طريق التكامل، مع الجزء الآخر من جُزيْء الحمض النووي الذي تنتمي إليه. وهذا التزاوج هو الذي يمكِّن من تحديد هذا الجزء وسط مادة بحث حية أو إنتاج أعداد كبيرة منه بواسطة التفاعل التسلسلي عبر التكثيف الجيني polymérase أو PCR الذي سنتناوله بالحديث لاحقاً.

عبرالجمع بالطريقة المناسبة بين الوسائل المذكورة، أصبح بالإمكان تحديد جينات مستخرجة من حيوان أو نبات أو كائن مجهري، وعزل تلك الجينات ودراستها. وانطلاقاً من ذلك كانت أول تطبيقات الهندسة الوراثية تتوخى الوصول، في

معرفة بنية الجينات، إلى مستوى المقاطع، ومن ثمة إتاحة تطوير اختباراتِ كشفٍ بالغة الدقة، هي المعروفة باسم الاختبارات الجينية. كما أصبح بالإمكان أيضاً إدخال تغييرات محدَّدة على الجينات، وعلى سبيل المثال إدخال تغييرات على مقطع من المقاطع أثناء عملية الاستنساخ.

هذه القدرة على التدخل في مرحلة واحدة على مستوى الجينات، إذ تنطبق على مجموع الكائنات الحية، شكلت ثورة حقيقية بالنسبة إلى الفلاحين ومربي المواشي الذين يجتهدون في تحسين الأنسال جيلاً بعد جيل عن طريق الانتخاب الصناعي. لا بل إن نقل الجينات من جسم حي إلى آخر مكّن من تخطي الحاجز الذي قام على مر الزمن بين الأنواع الحية المختلفة. وتكوينُ أحياء معدلة جينياً يتيح دراسة اشتغال جين معين في ظروف مختلفة، ولكن كذلك إنتاج كميات كبيرة من البروتين الذي يحمل

الجين المعنيّ شفرته. هذه المقدرة هي التي كانت وراء استعمال كائنات مجهرية (كالبكتيريا والخمائر) وخلايا حيوانية أو نباتية، أو كما سنرى لاحقاً، حيواناتٍ أو نباتات «كاملة»، هي الحيوانات والنباتات المحوَّلة وراثياً، أعني استعمالِها مفاعلاتٍ حيويةً تكنولوجية لإنتاج أدوية أو أغذية. وهذا يمكّن من تفادي بعض المشاكل الصحية التي تقع مثلاً عند إنتاج هرمون النمو أو إنتاج عامل مضاد للهيموفيليا، كالتلويث بالعوامل المسببة للمرض عند استخراج تلك المواد من كائنات حية.

ومثلما كان الحال بخصوص الاكتشافات الأساس في علم الوراثة، جاءت جائزة نوبل في الطب والفسيولوجيا والكيمياء لتكافئ المناهج المستحدثة في مجال الهندسة الوراثية واحداً بعد الآخر. بيد أن المجتمع ما لبث أن شرع يعبر عن قلق عميق وتخوُّفٍ من النتائج التي يمكن أن تؤدي

إليها هذه المعالجة غير المسبوقة للجسم الحي على مستوى الصحة والبيئة. من يضمن إذن ألا يؤدي ذلك إلى ظهور كائنات جديدة مسبِّبة للمرض لا يمكن التحكم فيها؟ ذلك ما دفع إلى تقرير نوع من التجميد لتلك الأبحاث بعد مؤتمر أزيلومار Asilomar عام 1975، فأصبحت الأبحاث في مجال الهندسة الوراثية وتطبيقاتها في مجال التكنولوجيا الحيوية خاضعة منذ ذلك الوقت لضوابط قانونية في غاية الصرامة. فلما انصرمت ثلاثة عقود ولم يحدث أي حادث، جرى تخفيف تلك الضوابط.

لكن ذلك لم يضع حداً للجدل بل زاد على العكس من حدته، وأصبحت الكائنات المعدلة جينياً، المعروفة اختصاراً بالحروف اللاتينية OMG الأولى من اسمها، عنوان ذلك الجدل الذي تركّزَ بصفة خاصة على نوع معين من الكائنات المعدلة وراثياً، أي الحيوانات والنباتات المحوَّلة جينيا.

ويتعلق الأمر ببعض الثدييات التي زرعوا في خلاياها جيناً بشرياً بغية الحصول في لبنها على بروتين تركيبي ذي فوائد علاجية، أو بعض النباتات التي تزرع بكميات كبيرة، والتي يضيفون إليها جيناً مستخرجاً من نباتات أخرى قصد جعلها مقاوِمةً لبعض المبيدات.

يجادل بعض المعترضين، لأسباب فلسفية، في مدى مشروعية تخطي الحاجز الطبيعي القائم بين الأنواع، فيما يذهب آخرون إلى أن الوقت لا يزال مبكراً للحكم على نتائج نقل الجينات إلى محيط ليس محيطها الطبيعي، وما يمكن أن ينجم عن ذلك من نتائج على مستوى سلامة وظائف الجسم المضيف. فأما أولئك فيُفْتون بضرورة منع كل أشكال المعالجة الجينية منعاً باتاً، وأما هؤلاء فيرون أن الأفضل التريُّث والتقدم بخطوات حذرة. وقد راعهم وزاد من حدة قلقهم ما رأوه من مسارعة المجموعات

الزراعية الكبرى إلى استعمال وسائل لم يتم التحكم فيها بعد تحكماً كافياً، استعمالها على مستوى الإنتاج بكميات صناعية. والحق أننا إذا كنا نعرف الجينات التي نقوم بنقلها، فإننا مازلنا لا نعرف جيداً كيف نختار المكان الذي يجب أن يلتصق به الجين على طول الحمض النووي عند الكائن المضيف. ثم إننا بالإضافة إلى ذلك لا نعلم شيئاً عن العواقب التي يمكن أن تنجم على المدى الطويل عن انتشار الكائنات المعدلة وراثياً في البيئة وفي الغذاء انتشاراً غير متحكَّم فيه. والجمهور العريض يريد أن تبقى له حرية الخيار بين استهلاك تلك المواد المعدَّلة أو عدم استهلاكها، وهو ما يفسر التحفظ الكبير الذي يُبديه الناس تجاه هذه الأغذية، علماً أن كثيراً من الدول بدأت بالفعل إنتاجها على نطاق واسع، ومنها على وجه الخصوص الولايات المتحدة والصين والأرجنتين.

خرائط الجينات والأمشاج الخلقية

في 1990 جرى رسمياً إطلاق برنامج الخريطة الجينية البشري، وهو أول برنامج بيولوجي دولي يجري على النطاق الواسع، بما يجعله شبيهاً من حيث الحجم ببرامج فيزياء الجزيْئات أو البرامج الفضائية. والهدف المرسوم للبرنامج هو وضع الخريطة الجينية للجسم البشري، أو خريطة الأمشاج الخلقية، أي المقطع الكامل لشريط الحمض النووي الحامل للخصائص الوراثية، وكذلك الخريطة الخاصة بأحياء مجْهرية ونباتات وحيوانات. وكان لا مناص من أجل ذلك من استعمال الهندسة الوراثية على مستوى صناعي، مع الاستعانة بآخر ما توصَّل إليه علم برمجة الإنسان الآلي والآليات الميكانيكية الدقيقة والإعلاميات. ولا عجب، فقد كان الباحثون حتى ساعتها يهتمون بالجينات مفردةً وبمكوناتها،

أي الحمض المؤكسد حامل الرسالة الجينية المشفرة والبروتين الذي يتحكم هذا الحمض في شفرته. فلما ظهر **علم الأمشاج** صار العلماء يعملون على دراسة الخريطة الجينية ومجموع السمات المشفرة، أو **المدوَّنة الجينية** transcriptome ومجموع البروتينات أو سجل البروتين protéome. وتمثلت أول خطوة من برنامج الخريطة الوراثية البشرية في رسم خرائط مفصَّلة للأمشاج الخلقية البشرية ومثيلتها لدى الأحياء التي اتُّخِذت نماذجَ في البحث. وبفضل خرائط الربط الجينية التي وضعها توماس مورغان في أوائل القرن العشرين انطلاقاً من دراسة ذبابة الخل، أمكن الربط إحصائياً بين علامات تحملها وحدات من الأمشاج يجري تحديد مكانها بالاعتماد على معالم جزيئية على طول الصبغيات، تحمل خصائص سليمة أو مَرَضية، مما مكَّن من تعريف وتحديد الجينات المعنية بنقل الأمراض الوراثية. وتتيح **الخرائط المادية** ترتيب

أجزاء من الخريطة الوراثية المستنسخة قبلاً في بكتيريا أو خمائر، من أجل دراستها واحداً واحداً، قبل التحديد الدقيق لطبيعة كل نوكْليوتيد على طول جزيء الحمض النووي، وكذا موقع كل واحد من الجينات.

بخصوص خرائط الجينات عند البكتيريا، التي تعدُّ خرائطها مكثفة قياساً إلى غيرها (إذ يكاد الحمض النووي يكون كله جيناتٍ)، يتعلق الأمر بتحديد الترتيب الذي تتبعه ملايين من النوكليوتيدات وبنيةَ المئات من الجينات، لكن هذا ليس بشيء قياساً إلى نظيرتها عند الحيوان والنبات، حيث يتعلق الأمر بمليارات من النوكليوتيدات وبعشرات الآلاف من الجينات التي تتحكم في شفرات بروتينات، تحيط بها مقاطع من الحمض النووي تكون في بعض الأحيان طويلة جداً ولا تحتوي جينات لكنها تتدخل في بناء الصبغيات

وتتحكم في اشتغال الجينات. وهذه الأخيرة لها بالإضافة إلى ذلك بنية مقطعة، حيث تتخلل المقاطعَ التي نجدها في مدوَّنات الحمض النووي، والمعروفة باسم **الإكسونات** exons أو «الخارجات»، مقاطعُ لا نجدها فيها، هي **الأنترونات** introns أو «الداخلات». وهذا كله يجعل من تحديد المكان الذي يحتله جين معين في شريط الحمض النووي، وتحديد العناصر التي تتحكم في اشتغاله، أمراً شديد التعقيد وبالغ الصعوبة. وهذا ما يشرح السبب في كون الباحثين لم يتفقوا حتى اليوم على عدد الجينات البشرية، التي نعرف أنها تفوق العشرين ألف جين، على حين يقدر بعض الباحثين عددها بما يفوق الثلاثين ألفاً، مع الاقتصار على احتساب الجينات التي تقوم مدوناتها بتشفير البروتينات، بل إنها تناهز عند بعضهم الخمسين ألفاً إذا احتسبنا أيضاً الجينات التي لا تقوم بتشْفير البروتين لكنها تضطلع

بتنظيم اشتغال الجينات الأخرى.

لا يستطيع الباحثون التنبؤ بدقة، عبر الوسائل المعلوماتية، بنية الإكسونات والأنترونات في الجينات انطلاقاً من مقطع الخريطة الجينية وحده، ولا تحديد بداية ونهاية مدونة الجين في شريط الحمض النووي المؤكسد. ولم يتمكّن الباحثون من دراسة مجموع مدونات الحمض النووي المؤكْسد إلا عبر تقطيع نسخة الحمض النووي غير المؤكسد المقابلة لها، وتعرف هذه الأخيرة باسم الحمض النووي **التكميلي** DNAc. ولما كانت الإكسونات بطبيعتها هي الوحيدة الممثلة في الحمض النووي المؤكسد، فإن معرفة بنيتها ساهمت بشكل كبير في التحديد التجريبي لبنية الإكسونات والأنترونات في الجينات.

بيد أن التعدد الخاص بكل مدونة يتغير تغيراً كبيراً حسب نوع الخلية المعنية ونشاط العضو أو

الجسم الذي تنتمي إليه. وليس هذا فحسب، بل إن الجين الواحد يُنتج في الغالب عدداً من المدوَّنات التي تكون لها أحياناً أدوار مختلفة. ومعنى ذلك أن العشرات من ألوف الجينات الموجودة في الخريطة البشرية تنتج فيما يبدو مئات من آلاف المدونات. ولما كانت هناك العديد من الطرق التي تجري بها ترجمة المدونات إلى بروتينات وتغيير بنية تلك البروتينات حسب الأنواع المختلفة من الخلايا، فإن الأجسام الحية الأشد تعقيداً لها فيما يبدو خريطةٌ جينية تتكون من ملايين عديدة من البروتينات.

استغلال خصائص الجينات صناعياً

في بداية التسعينيات من القرن المنصرم، كانت المعارف المكتسبة حديثاً في شأن خريطة الجينات البشرية موضع محاولات للتملُّك على نطاق واسع، عن طريق طلبات حفظ حقوق لصالح نوع جديد من الشركات المتخصصة في التقنية الحيوية، هي شركات الخرائط الجينية. وكانت تلك الطلبات تستند بالأساس إلى مقاطع من شريط الحمض النووي الطبيعي، تصحبها طلبات حفظ حقوقِ تطبيقاتِها الممكنة لكن غيرِ المبرهَن عليها. ومعنى ذلك أن الأمر كان يتعلق بتسجيل اكتشافات لا اختراعات، كما ينبغي أن يكون عليه الأمر حسب القوانين المنظمة لحقوق الملكية الفكرية، وتسجيل هذه الحقوق لا يختلف في شيء عن تسجيل الجزيْئات الأولية في المادة أو العناصر الكيميائية أو

حتى النجوم في السماء. ذلك ما جعل كثيراً من الأصوات ترتفع ضد هذه المحاولات التملُّكية التي كانت تهدِّد بقطع الطريق على البحث العلمي وبالتالي عرْقلة تطوير تطبيقات مفيدة للصحة البشرية.

جواباً على هذه الوضعية قامت اليونسكو ومنظمة الأمم المتحدة، ومعهما المسؤولون السياسيون في البلدان المعنية ببرنامج الخريطة الجينية البشرية، بالتأكيد في الإعلان العالمي للخريطة الجينية البشرية وحقوق الإنسان على ضرورة أن تكون هذه المعلومات متاحة للجميع، وذلك من أجل تشجيع الباحثين على تطوير تطبيقات صناعية في هذا المجال، تكون محمية عندها بقانون الملكية الفكرية. وكانت النتيجة أن اضطرت كثير من شركات الخريطة الجينية إلى تعديل برنامجها التطويري الذي كان يقوم بالأساس على حقيبة من التراخيص

المحتملة التي تحمي حقوقاً على المقاطع، تفرض أداء حق الدخول من أجل الوصول إلى المعطيات الخاصة التي لا يجدها الباحث في قواعد المعطيات العمومية. وهي تحاول اللحاق بركب بعضٍ من مثيلاتها التي أصبحت اليوم شركات صيدلة قائمة الذات بفضل بعض الأدوية الرائدة المنتَجة بواسطة الهندسة الوراثية، مثل هرمون النمو المعروف اختصاراً باسم EPO وغيره.

بيد أن مثل هذه التطبيقات الصيدلية والتقنية الحيوية ليست مضمونة النجاح، وتفعيلها يتطلب من المستثمرين المجازفة بأموال لا تفتأ مقاديرُها تزيد يوماً عن يوم. فإنتاج دواء تقبل به السلطات وطرحُ ذلك الدواء في الأسواق يتطلب اليوم ما لا يقل عن ثلاثة مليارات من اليورو. ولا مراء في القول إن نتائج ثلاثين سنة من البحث والتطوير في مجال الهندسة الوراثية قد تأخرت كثيراً في إيتاء أُكلها.

هذا مع العلم أن الأمر يكتسي أهمية بالغة بالنسبة إلى الصحة البشرية، في مجال الأمراض الوراثية على الخصوص في البلدان المتقدمة، وفي مجال الأمراض الطفيلية من قبيل الملاريا في البلدان النامية. وهم يسمون مثل هذه الأمراض «الأمراض اليتيمة» نظراً لأنها لا تحظى باهتمام الصناعيين لكونها لا تضمن لهم أرباحاً على ما يمكن أن يستثمروه فيها من أموال. والحق أن الأمر كذلك، إذ إن المسألة في حال الأمراض الأولى المذكورة لا يمكن أن تهم سوى عدد صغير من الأشخاص، مما لا يمكن أن يبرر الاستثمار فضلاً عن أن يضمن ربحه، أما في الحال الثانية فإن المصابين كُثر والطلب على الدواء قائم، لكن فقر الجانب الطالب يجعل من الصعب ضمان استخلاص ثمن الدواء منه. بيد أن هناك مفارقة تتمثل في كون الأدوية الجديدة المطروحة في الأسواق من قبل الصناعيين، والمخصصة لعلاج

الأمراض «المربحة»، هي أيضاً في تناقص.

ويمكن تفسير هذه الوضعية بكونها نتيجة لما تتبعه حكومات الدول المصنعة من سياسة تتوخى التحكم في كلفة الصحة، وما تنحو إليه من تشجيع للأدوية الجنيسة التي ثبتت فعاليتها والتي طرحت في الأسواق العمومية. كما يمكن القول إنها نتيجة للسياسة الربحية التي يتبعها الصناعيون بتركيز اهتمامهم على عدد صغير من المنتجات الرخيصة بأن تدر أرباحاً تقدر بمليارات اليورو سنوياً. ويبدو بالفعل أن هذين التوجُّهين يساهمان معاً في إضعاف مجهود البحث والتطوير اللازم لإعداد التطبيقات. غير أن المشكل قد يكون أعمق من ذلك، وقد يؤدي في المستقبل المنظور إلى إعادة النظر في النموذج المتَّبع في التنظيم والبحث والتطوير في ميدان الصناعة الصيدلية. وبالفعل وكما سنَتَبيَّن ذلك في ما يلي، فإن معرفة مقاطع الجينات مهما كانت

معرفةً دقيقة ووافية، لا تكفي وحدها لجعلنا نفهم كل التعقيد الذي يطبع الوظائف البيولوجية العادية والتغيرات التي تحدث عند المرض.

هذا ما يبعث على الشك في إمكانية أن تصبح الصناعة الصيدلية أكثر فعالية بما يمكّنها من الاستجابة لمشاكل الصحة العمومية إن هي لم تقتف أثر الباحثين في استفسارهم عن المفاهيم والممارسات التي قامت عليها تلك الصناعة منذ قرن مضى، وأعني الكيمياء والبيولوجيا الجزيئية كما مارسها الأوائل بطريقة تحليلية بحتة.

من اللازم عدم المبالغة
في تقدير دور الحمض النووي والجينات

الحمض النووي والبروتينات: شريكان لا فراق بينهما

لقد قطعت نظرية الوراثة أشواطاً كبيرة منذ أيام عامل مندل حتى مرحلة المقاطع الجينية، مروراً بتركيبة جزيْء الحمض النووي، وأسفر ذلك التقدم عن عدد كبير من التطبيقات العملية التي تغزو رويداً حياتنا اليومية، في غفلة منا أحياناً، مما يثير الكثير من التساؤلات ومن المخاوف. هذا، علماً أننا نصطدم بحدود كثيرة كلما تعلق الأمر بالإحاطة فهماً بالكيفية المعقدة التي تعمل بها الأجسام الحية أو بمحاولة وقايتها من الأمراض التي تصيبها. ولا مناص من الاعتراف بأن الفتوحات التي بشَّر بها علماء الوراثة طويلاً قد أخلفت موعدها مع

المجتمع، رغم الأموال الكثيرة التي استُثمرت في دعم الصناعة الصيدلية من أجل تطوير أدويةٍ وطرق علاجٍ مستحدثة. أضف إلى ذلك أن مقطع الخريطة الجينية لا يشكل وحده «كتاب الحياة» كما ادَّعى بذلك بعض دعاة برنامج الخريطة. وبتعبير آخر، فإن الحمض النووي لا يمثل وحده ذلك المكوِّن السحري الذي يملك القدرة المطلقة في تقرير هوية الكائن الحي وسبيله في الحياة. بيد أن ما اكتسبناه حتى اليوم من معارف في هذا الشأن يتيح لنا أن نعيد النظر في دور الجينات وتفاعلها مع محيطها، وأن نفهم من خلال ذلك كيف يسهم هذا المكوِّن في ظهور ما تتَّسم به الأنظمة البيولوجية من خاصيات كثيراً ما تكون مدهِشة.

لنفترضْ أن لدينا جزيْئاً من الحمض النووي يحمل جيناً، وضعناه في أنبوب مختبر؛ ما الذي سيحدث يا ترى؟ لن يحدث شيء البتَّة طالما بقي

جزيْء الحمض وحده، وذلك أيّاً كان مصدر الجزيْء وأياً كانت طبيعة الجين. فإذا ما انتظرنا زمناً طويلاً جداً، فإن الحمض سوف يتحلّل مع اندثار الروابط الكيميائية القائمة بين الذرات المكونة للجزيْء الكبير، اندثارِها تلقائياً أو بفعل عامل خارجي كالإشعاعات مثلاً. فإذا أضفنا بعض الماء إلى الجزيْء في الأنبوب، نحصل على محلول حمْضي لن يَعدِم أن يزيد من سرعة تحلُّل الجزيء. هذا التحلل الطبيعي هو ما يفسر كوننا نجد بعض القطع الصغيرة جداً من مقاطع الحمض النووي في بقايا الحيوانات والنباتات المتحجرة أو المتجمدة. وهذا يجعل من قبيل العبث محاولة بعث بعض الحيوانات المنقرضة، حتى التي انقرضت منها منذ زمن غير بعيد (انظر من هذه السلسلة الثمرةَ التي عنوانها: *هل يمكن بعث الماموث؟*).

في هذه الظروف ليس باستطاعة الحمض

النووي أن يفعل شيئاً، لكن لا ينبغي أن نستخلص من ذلك أنه ليس يصلح لشيْء. فغياب الدليل على النشاط ليس دليلاً على غياب النشاط، إذ قد يكون هذا النشاط غير ظاهر إلا في ظروف معينة غير الظروف التي تمت ملاحظته فيها. وهذا بالفعل ما أسفرت عنه الملاحظة الدقيقة لأنواع كثيرة من جزيئات الحمض النووي غير المؤكسد وحتى المؤكسد في ظروف متنوعة تنوعاً كبيراً، إذ اتضح أن عدداً صغيراً منها يتصرَّف مثل الأنزيمات، علماً أن هذه الوظيفة كانت في ما قبل تبدو حكراً على البروتينات. وقد قاد هذا إلى قيام فرضيات لا تخلو من إثارة للاهتمام في شأن المراحل الأولى من ظهور الحياة، منها رأي فريق يرى أن العالم كان في تلك المراحل عالماً من الحمض النووي المُؤْكسد، وذلك قبل ظهور البروتينات.

لنتابعْ تجربتنا ولنضفْ إلى الجزيْء في محلوله

الحمضي واحداً من كلٍّ من مكوناته الأربعة المذكورة آنفاً، C وG وT وA، وبروتيناً قادراً على ربط بعضها ببعض عبر تفاعل أنزيمي. لنحرصْ بعد ذلك على الحفاظ على مستوى الحموضة والملوحة في المحلول ولنضف إليه اثنين من الأوليغونوكليوتيد (أو المكونات المشابهة الموسومة بالقلّة) يكون مقطعها مشابهاً للمقطع الموجود على جانبيْ جينٍ في جزيْء الحمض النووي. لنرفعْ بعد ذلك حرارة الخليط إلى مائة درجة مئوية ثم لنخفضها حتى تبلغ سبعين درجة، وهي الحرارة التي يكون النشاط الأنزيمي في البروتين في قمته (فهو مستخرج من بكتيريا مقاوِمة للحرارة تكون في العادة قرب المنابع البركانية الساخنة). لنكرِّرْ العملية بضع عشرات من المرات ثم لننظر في الأنبوب. سنجد عندها أن الجين الذي كان واحداً قد أصبح لدينا منه آلاف وربما ملايين من النسخ.

ما الذي حدث يا تُرى؟ إن رفع حرارة المحلول إلى درجة مرتفعة قد فصل بين جزءيْ الحمض النووي لأنهما لا يرتبطان إلا بروابط تتأثر بالحرارة، هي الروابط الهيدروجينية، وهو ما مكن المكونين المشابهين اللذين أضفناهما قبل ذلك من الالتحام بمكمِّليهما الموجوديْن على جانبي الجين، مما يجعل منهما نقطة انطلاق لتركيب الجين كاملاً بالاستعانة بالأنزيم. هكذا نكون قد أحدثنا تفاعلاً متسلسلاً عبر **التكثيف**، هو التفاعل المعروف اختصاراً باسم PCR، وهو الذي يستعملونه كثيراً في الاختبارات الجينية نظراً إلى قدرته على الكشف عن وجود الحمض النووي مهما كانت كمية الحمض قليلة. وجزيء الحمض النووي في كل هذا كان دورُه سلبياً، إذ لم يجاوز أن كان بمثابة الحامل أو الحاضن لهذه العملية، نظراً إلى أن النشاط الكيميائي البيولوجي من فعل الأنزيمات والشروط التجريبية

التي ذكرناها.

أما إذا أدخلنا الآن الجين الذي بأيدينا إلى داخل خليَّة حية، من مثل البكتيريا أو الخميرة، أو داخل حيوان أو نبات، فإن الوضع ينقلب رأساً على عقب. ما يحدث هو أن الآلة الخلوية تستنسخ الحمض النووي وتكتبه على شكل حمْض مؤكسد ثم تترجمه إلى بروتين. وهنا نلتقي من جديد بمبدأ نقل الجينات الذي يفضي إلى تكوين أحياء معدلة وراثياً. وهي أيضاً الطريقة التي تستعملها الفيروسات (التي لا نشاط لها خارج الخلية) في التكاثر والانتشار في داخل الخلايا الحية التي تتصرف تلك الفيروسات في داخلها مثل طفيليات حقيقية. في هذه الظروف، يبدو وكأن الحمض النووي هو العامل الذي يتحكم في سير المسلسل، غير أنه ليس في الواقع، هنا أيضاً، سوى حامل أو حاضن للعملية التي تقوم بها الأنزيمات الخلوية، وهذه الأخيرة تستعمل

المعلومات التي يتضمنها الحمْض، وهي، أي الأنزيمات، مشفرة حسب جينات المضيف. وهكذا يتبيَّن لنا أن الحمض النووي والبروتينات مرتبطان ارتباطاً لا انفصام له.

الموروث والمكتسب:
جدل في غير موضعه

لنقمِ الآن بالعملية في الاتجاه المعاكس، فننطلق من مشيج أولي، أي بويْضة أنثوية غير ملقَّحة، وهي خلية نشطة مهمتها التكاثر، مع نواتها (المحتوية على الحمْض النووي) وروائها أي السيتوبلازم. فإذا نحن نزعنا من الخلية نواتها فإن النواة تتعرض للتلف السريع، وإذا حاولنا تخصيب البويْضة منزوعة النواة، بواسطة حيوان منوي، فإن العملية لا تفضي إلى شيء ولا يتكون منها جنين، لأن الخلية ينقصها نصف الحمض النووي. لكن، إذا ما أدخلنا في الخلية نواة مستخرجة من خلية عادية من الجسم، أي خلية تحتوي نواتها على الخريطة الجينية كاملة، ووفرنا الظروف التجريبية المناسبة، فمن الممكن أن ينطلق عندها برنامج التطور الجنيني الذي يُفضي في

نهاية المطاف إلى كائن شبيه كل الشبه بالكائن الذي استُخرجت النواة من إحدى خلاياه. فإذا فعلنا ذلك نكون قد قمنا بعملية استنساخ عبر نقل النواة، وهي العملية التي جربها الباحثون مراراً، من دون نجاح كبير، على عدد من الأنواع الحيوانية، والتي لا يزال تطبيقها على الإنسان لأغراض تناسلية يلاقي اعتراضاً يكاد يكون شاملاً. والجدل لا يزال حتى اليوم قائماً بين معارضي ومناصري استعمال هذه الطريقة استعمالاً مقنَّناً لأغراض علاجية بعد أن جاءت أوائل الدلائل على أمانها من الصين وكوريا الجنوبية.

بيد أن عملية نزع الخلية لا تأتي فقط عن طريق الوسائل الاصطناعية التي أبدعتها تقنيات الاستنساخ، بل تحدث أيضاً بطريقة طبيعية أثناء تكوُّن الكريّات الحمراء، وهي كما نعلم لا نواة لها. فهي تنحدر مما يعرف باسم الكريات الحمراء

الفتية réticulocytes، وهي خلايا ذات نواة تنتج اليخْمور أو الهيموغلوبين، وتنحدر بدورها من الخلايا الجذْعية الدموية الموجودة في نخاع العظم. فإذا كان الإنسان يعاني من فقر الدم أو كان يعيش في المرتفعات حيث يقل الأوكسجين، فإن عدد الكريات الحمراء يكون قليلاً في الحال الأولى وغير كاف في الثانية لضمان عملية تنفّس طبيعية. وضعيات النقص هذه تفضي إلى حفز الجسم على إفراز هُرْمون معين هو هرمون تكوين الكريات الحمراء érythropoïétine المعروف اختصاراً باسم EPO، مما يفضي إلى ازديادٍ في أعداد الكريات الحمراء الفتية التي تنتج الكريات الحمراء في الدم. وبعض الرياضيين يستعملون نوعاً من أنواع هذا الهرمون، أي هرمون إعادة التركيب recombinant، وهو أحد منتجات علم الوراثة الرائدة، باعتباره منشطاً لتحسين أدائهم بطريقة اصطناعية وسريعة.

وإذا نحن تتبعنا مسار كريَّة من كريات الدم الحمراء التي لم تعد لها نواة، سنجدها تواصل الاضطلاع بدور نشيط في اقتناص الأكسجين بفضل مخزونها من اليحمور، ثم تشرع في الاضمحلال رويداً حتى تموت بعد بضعة أسابيع فيتخلص الجسم منها، وبدهي أنه يحتاج لاستبدالها بأخرى جديدة، ومن ثمة ضرورة التجديد المتواصل انطلاقاً من نخاع العظام. والخلاصة أن ضياع الحمض النووي من الخلية يُفقدها بصفة نهائية نشاطَها الوظيفي، مما يؤكد أن الحمض ضروري لبقاء الجسم الحي حياً.

نستخلص من هذه الملاحظات أن الحمض النووي ليس بالمكون ذي المقدرة المطلقة الذي وصفته لنا العقيدة المركزية في البيولوجيا الجزيئية ذات يوم، لكنه في الآن ذاته ليس بالجزيْء غيرِ ذي الشأن الذي لا يعدو دوره أن يكون مساعداً للبروتينات. فبدون الحمض النووي الذي يحمل

المعلومة الجينية لا يتأتى نقل الخصائص الوراثية الناتجة أساساً عن نشاط البروتينات، لكن بدون البروتينات لا يتأتّى حل شفرة تلك المعلومة ولا الاستفادة منها. وبذلك فإن الجين، تلك الوحدة الوراثية الابتدائية في منظور مندل الأولي، ليست هي الحمض النووي البروتين، بل هي الحمض النووي مجموعة من البروتينات يشتغل معها الحمض في تعاون وثيق داخل محيط خلوي بالغ التعقيد، في تفاعل مع العوامل الخاصة بالبيئة التي يعيش فيها الجسم الحي. ذلك أن العوامل المادية كالحرارة أو الضوء، وكذلك احتواء الغذاء على جزيْئات صغيرة كالأملاح المعدنية والمعادن النادرة، تؤثر جميعها في طبيعة نشاط الجينات. ودور الحمض النووي في هذه العملية يتمثل في الاحتفاظ بنسخة من بنيات بيولوجية وظيفية، وبالتالي ضمان إعادة استعمالها على توالي الأجيال.

إن الخصائص التي تتّسم بها الأنساق البيولوجية خصائص محدَثَة لا تمتلكها العناصر المكونة لتلك الأنساق، بل هي ناجمة عن عملية تركيب متواصلة لعناصر مختلفة، مصداقاً لما كان فرانسوا جاكوب François Jacob قد تحدَّث عنه منذ السبعينيات من القرن الماضي تحت اسم: لعبة الممكنات. ومن هذا المنطلق، من قبيل الانتقاص من قدْر الجيناتِ الحديثُ عن الجين المرتبط بهذا البروتين أو ذاك، لأن الجين الواحد يشفِّر بروتيناً واحداً أو بروتينات عدة لها بنيات تركيبية متقاربة، لكن لها في غالب الأحيان وظائف بيولوجية مختلفة. وأكثر من ذلك إيغالاً في الغلط الحديثُ عن الجين المسبب لهذا المرض أو ذاك، إذ حتى وإن كان حدوثُ طفرة في جين معين يقوم بدورٍ أساس في ظهور مرض معين، فليست وظيفة الجين الأولى هي المعنية هاهنا. ولذلك فمن الأصح أن نتحدث عن الجينات المعنية بهذا المرض

أو ذاك. أضف إلى هذا أن أغلب الأمراض، مثلها في ذلك مثل الوظائف البيولوجية المعقدة، لا تخضع لأي مبدأ حتمي بسيط، بل هي نتيجة تفاعل عوامل عديدة، وتستدعي تدخُّلَ العديد من الجينات. وبهذا يتضح أن كل ما يعلن بعض الناس عنه من اكتشاف جينات تحدد سلوكنا وترسم حدود حريتنا ليس إلا ضرباً من الخيال.

يجب أن نتحرر من الفكر الثنائي الذي جرتنا إليه الاختزالية التحليلية، وأن نوطِّن أنفسنا على أن الحياة نتيجة لامتزاج دينامي بين البيئة المحيطة ومكونات الأجسام الحية، ومن بينها الحمض النووي والجينات التي يحملها، وهي تضطلع بدور مهم ولكن ليس في عزلة عن غيرها من العوامل والمكونات، بل في تفاعلٍ وتعاون معها. وهذا ينزع الكثير من المصداقية عن السؤال المتعلق بمعرفة نصيب الموروث والمكتسب في ظهور الخصائص

البيولوجية المعقدة، إذ إنهما، مثل الحمض النووي والبيئة المحيطة، ضروريان لا غنى عنهما.

إعادة النظر في العقيدة المركزية في البيولوجيا الجزيْئية

جاء اكتشاف ظواهر بيولوجية عديدة ليكون باعثاً على إعادة النظر في العمومية التي تتصف بها بعض المبادئ الأساس في العقيدة المركزية في البيولوجيا الجزيئية. فقد اكتشف الباحثون أول ما اكتشفوا أن جينات بعض الفيروسات تتألف من حمض نووي مؤكْسد RNA وليس من الحمض غير المؤكسد DNA، بمعنى أن حامل الجينات الجزيئي حمض نووي لكنه ليس بالضرورة الحمض غير المؤكسد. وفي هذه الحال فإن عملية التدوين تجري في الاتجاه المضاد، حيث يكون الحمض النووي المؤكسد RNA حاضناً لعملية تركيب لمدونة من الحمض غير المؤكسد DNA، وذلك عبر عملية تدوين معكوسة (هي التي يجري استعمالها من أجل

الحصول على ما يعرف بالحمض النووي التكميلي DNAc الذي أشرنا إليه آنفاً). هذه الفيروسات ذات الحمض المؤكسد هي ما يطلق عليها اسم الفيروسات المعكوسة rétrovirus، ومن بينها فيروس HIV، أي فيروس داء فقدان المناعة المكتسب أو الإيدز. وهذه القابلية للانعكاس في عملية التدوين تمثل إعادةً للنظر في المبدأ الذي تقوم عليه العقيدة المركزية في البيولوجيا الجزيئية، والذي ينص على أن نقل المعلومة الجينية لا يجري إلا انطلاقاً من الحمض غير المؤكسد وانتهاء بنظيره المؤكسد وليس العكس.

كما لاحظ الباحثون أن هناك أحماضاً نووية مؤكسدة تحمل نوكليوتيدات لا تقابل مثيلاتها الموجودة في الحمض غير المؤكسد الذي جرى تدوينها انطلاقاً منه. وقد تم تفسير هذه الملاحظات بكون الحمض المؤكسد تدخل عليه تغييرات بفعل أنزيمات خلوية تعمل بعد مرحلة تدوين الجينات.

هذه الظاهرة تكون في بعض الأحيان ضرورية لاشتغال وظيفة بيولوجية معينة، وقد أطلقوا عليها اسم طباعة الحمض النووي المؤكسد édition de l’RNA، ووجودها يُعد في حد ذاته دليلاً على أن قسماً من المعلومة الجينية لا يحمله الحمض النووي في الجين، بل هو رهين بالمحيط الخلوي الذي يكون ذلك الجين فيه. وجليٌّ أن في هذا ما يضيف صعوبة جديدة إلى ما ذكرناه من تعدد في طرائق تدوين الجينات عند حديثنا عن الخريطة الجينية.

وأخيراً، فقد تم اكتشاف عوامل مسببة للأمراض تتصرف مثل الفيروسات لكن ليس لها حمض نووي بل تتكون فقط من البروتينات، سموْها **البريون** prion. ويبدو أن خاصية التسبب في المرض هذه التي تكون في أصل أمراض منها مرض جنون البقر الشهير، نتيجةٌ لتغيير في بنية البروتينات، إما عقب حدوث طفرة جينية وإما بتأثير عامل خارجي، وهو

التغير الذي يسري بعد ذلك من جزيْء من البروتين إلى جزيء، من دون المرور عبر واسطة الحمض النووي. وانتقال المعلومة بهذه الطريقة المباشرة من جزيء من البروتين إلى آخر يمثل أكبرَ سبب لإعادة النظر في أساس «العقيدة المركزية».

من علم الوراثة إلى بيولوجيا الأنظمة

بعد رسم خريطة الجينات وتفصيلها إلى مقاطع، مكَّنت دراسةُ المدوَّنة الجينية transcriptome ومجموع البروتينات أو سجل البروتين protéome (بالاستعانة على وجه الخصوص بالحاملات المصغرة التي تحمل أعداداً كبيرة من جزيئات الحمض النووي ومن البروتينات)، مكنت من رسم صورة لحظية للحالة التي عليها خلية أو عضو معين أو جسم حي بأكمله. ويجري الآن إعمال وسائل شاملة أخرى تهدف إلى توسيع هذه المعلومة الوظيفية لتشمل كذلك النشْويات والدهون، وهي لا تحمل المعلومة الجينية، وتوسيعها كذلك إلى مجموع وحدات الأيْض أو وحدات الاستقلاب métabolites الموجودة في داخل الخلية، والتي تتفاعل مع الجزيئات الكبيرة macromolécules،

وذلك من أجل الإحاطة علماً بكل تفاعلات الأيْض، أو سجل **الأيض** métabolome. والمفروض أن يفضي بنا إدماج كل أنواع المعلومات المستقاة، في آخر المطاف، إلى الإحاطة علماً بمجموع العمليات التي يتكون منها الاشتغال العادي أو المرضي لعضو معين أو جسم حي معين، وهو ما يسمونه: سجل العمليات **الفسيولوجية** physiome. وواضح في هذا السياق أن دور الجينات الذي ترى فيه العقيدةُ المركزية للبيولوجيا الجزيئية دوراً أساساً قد تراجع مع اكتشاف هذه المعطيات، في مقابل أهمية متزايدة صارت تكتسيها باقي مكونات الأجسام الحية وما يقع بين تلك المكونات من تفاعلات متشعبة متعددة.

لقد أتاحت لنا الاختزالية الصارمة التي قامت عليها البيولوجيا الجزيئية أن نَصِفَ مكونات الأجسام الحية وصفاً دقيقاً، لكنها لم تتح لنا أن نحيط

بكل التعقيد الذي يطبع اشتغال تلك الأجسام في الظروف العادية وفي حال المرض، ومعنى ذلك أننا مازلنا غير مسلحين بما يكفي من المعرفة للتنبؤ بما يمكن أن يكون عليه سلوكها تجاه حدوث طفرات أو تجاه تغيير في بيئتها المحيطة، مما يحدُّ كثيراً من قدرتنا على التدخل حين تبلغ تلك الاختلالات بالجسم الحي حدود المرض. ومن أجل التقدم في هذا الاتجاه يلزمنا في البدء أن نمتلك القدرة على أن نقيس، بطريقة دقيقة وقابلة لأن يُعبَّر عنها كمياً، مجموع التغيرات التي تدخل على العناصر العديدة المتفاعلة داخل الأجسام الحية، وخصوصاً حين تكون تلك التغيُّرات طفيفة، لأن هذا النوع من التغيرات هو الأكثر حدوثاً، ولا شك أنها هي التي تعمل على نقل الجزء الأكبر من المعلومة البيولوجية. ثم يلزمنا في المحل الثاني أن نطور إطاراً تصورياً وأدواتٍ رياضيةً ملائمة تتيح لنا الإحاطة بالأنظمة

البيولوجية في تعقيدها الشديد وتفاعلاتها المتبادلة، من الجزيْء إلى النظام البيئي الشامل، مروراً بالخلية والجسم الحي.

ومن أجل تطوير علم بيولوجيا الأنظمة هذا، ينبغي لنا أن ندمج مكتسبات البيولوجيا الجزيئية وعلم الوراثة مع ما جاءت به نظريات علم الإعلام وعلوم الأنظمة وعلوم التعقيد. وهذا يعني، من جهةٍ، تحديدَ طبيعة وطريقة انتقال المعلومة البيولوجية، وذلك بالاعتماد على نظريات وتقنيات الإعلام والاتصال التي تقوم عليها الإعلاميات والاتصالات. من جهة أخرى، سيتمثل الرهان في تحديد قواعد بسيطة يخضع لها تنظيم الأنظمة البيولوجية، تنتج عنها تصرفات معقدة، وعلى العكس من ذلك قواعد معقدة تنتج عنها تصرفات بسيطة، واستعمال تلك القواعد من أجل تعديل اشتغال الأنظمة، باستلهام مناهج هندسة الأنظمة

المعقدة المطبقة في مجال الملاحة الفضائية وعلم الفلك والأرصاد الجوية. وغنيٌّ عن الذكر أن هذه التطويرات ستتطلب تعاوُنَ خبراء من اختصاصات متعددة، مثل الفيزياء والكيمياء والرياضيات والإعلاميات.

إن الجمع بين التصورات والمناهج والنتائج الخارجة من رحم الفكر والممارسة العلميَّيْن والطبيَّيْن في الشرق والغرب، يمثل كذلك سبيلاً واعداً يجدر بنا استكشافه بكل دقة وصرامة علمية. والرهان هاهنا ضخم ذو شأن، إذ سيتعيَّن الحفاظ على الاختزالية الديكارتية التي كانت وراء تطوُّر العلوم الغربية على مدى أكثر من أربعة قرون، مع العمل في الآن ذاته على الاستفادة من ثمراتِ مقاربةٍ شاملة للعالم الحي تندرج في التقاليد العريقة للثقافة الشرقية.

ثبت بالمصطلحات

المصطلح الأجنبي	المقابل العربي
génome	خريطة جينية
Allèle	مناقض
génotype	الطراز العرقي
phénotype	الخصائص المرئية
nucléotide	نوكليوتيد
DNA	الحمض النووي
RNA	الحمض النووي المؤكسَد
cytoplasme	رواء الخلية
ribosome	ريباسة
Enzymes de restriction	أنزيمات الحضر
Ligases	الأنزيمات اللاصقة
DNA recombiné	الحمض معاد التركيب
séquence	مقطع

oligonucléotides	أوليغونوكليوتيد، أو المكونات المشابهة
polymérase	التكثيف الجيني
transcriptome	المدوَّنة الجينية
protéome	سجل البروتين
Exons	الإكسونات أو الخارجات
introns	الأنترونات أو الداخلات
DNAc	الحمض النووي التكميلي
hémoglobine	اليحمور
réticulocytes	الكريات الحمراء الفتية
érythropoïétine	هرمون تكوين الكريات الحمراء
recombinant	هرمون إعادة التركيب
rétrovirus	فيروسات معكوسة
édition de l'RNA	طباعة الحمض النووي المؤكسد

métabolites	وحدات الأيض أو وحدات الاستقلاب
macromolécules	الجزيئات الكبيرة
métabolome	سجل الأيض
physiome	سجل العمليات الفسيولوجية

الملخص

يدور الحديث في هذه الأيام حول الأغذية المعدلة وراثياً ما هي، وعن مقدار ما يدعيه لها خصومها من خطورة كما عن مصداقية ما يدعيه أنصارها من انعدامٍ للضرر.

للجواب علىً هذه الأسئلة يدعونا شارل أوفراي إلى التعرف بدءاً على الطريقة التي تنتقل بها الخصائص الوراثية، والرُّسل الكيميائية والفيزيائية التي تحمل المعلومات المتعلقة بتلك الخصائص فتنقلها من جيل إلى جيل، وكيف أن عملية النقل تلك، إذ تجري عبر طريقة التشفير أي الكتابة نقلاً عن الأصل ثم الترجمة لتخليق النسخة، قد تشوبها بعض الأخطاء أثناء إحدى العمليتين، مما يفضي إلى عيوب وراثية قد تكون إيجابية فتجعل الجيل الجديد أفضل من سابقه وأقوى، كما قد تكون سلبية فينتج

عنها ما يعرف بالأمراض الوراثية. هنا يتدخل العلم لتصحيح المسار أو لتفادي تلك الأخطاء، وهو ما يعني به علم الهندسة الوراثية موضوع الكتاب.

إن التمكن من معرفة أسرار الوراثة معرفة جيدة، والتوصل إلى التحكم في سيرها، وهو ما يسعى إليه العلماء، من شأنه أن يتيح علاج الكثير من الأمراض وتفادي ما نعرفه اليوم باسم الأمراض الوراثية، التي يتسبب فيها خطأ بسيط يقع أثناء كتابة الرسالة الوراثية أو عند ترجمتها. كما أن ذلك التمكن وتلك المعرفة من شأنهما أن يساعدا في تحسين النسل عن طريق الجمع بين مزايا الجيل الوالد في الجيل المولود، ومنع انتقال نقاط الضعف وكذا الأخطاء الجينية من الأول إلى الثاني. هذا بالضبط ما توصل إلى بعضه علماءُ الوراثة في مجال النبات، مما أتاح لهم استخلاص سلالات من أعلاف الحيوانات ذات جودة عالية، هي ما يعرف باسم

النباتات المعدلة جينياً، وكذا تضمين العلف بعض المحفزات التي تجعل الماشية تدر لبناً فيه عناصر غذائية أو علاجية معينة. لكن هذا التحكم لا يزال جزئياً ولا تزال نتائج تلك التغييرات لم تتضح جيداً على المدى البعيد، وخصوصاً ما تعلق بانعكاس ذلك على البيئة متى انتشرت المواد المعدلة فيها انتشاراً لا يمكن التحكم فيه.

هذه المسائل وغيرها، من مثل قضية الاستنساخ وأبعادها العلمية والأخلاقية، هي المواضيع التي يخوض فيها هذا الكتاب المختصر المفيد، الذي يشترك مع غيره من الكتب العلمية في كونه لا يجيب على سؤال إلا وطَرَح بعده سؤالاً آخر، توسيعاً لمجال البحث واستشرافاً لآفاق المعرفة.

نبذة عن المؤلف:

ولد شارل أوفراي في 1951. ويعمل مديراً للأبحاث في المركز الوطني للبحث العلمي. وهو متخصص في علم الجينات الجزيئي. ويعد من العاملين الرئيسيين في مجال برنامج الخريطة الجينية البشرية. وقد صدرت له مقالات ومؤلفات عدة في مجال اختصاصه. نذكر من بينها كتاب «ما الجينات؟» الذي بين أيدينا. وكتاب «الخريطة الجينية البشرية». وكتاب «ما الحياة؟». بالاشتراك مع لوي-ماري هودبين.



ما الجينات؟

يدور الحديث في هذه الأيام حول الأغذية المعدلة وراثياً. وعن مقدار ما يدعيه لها خصومها من خطورة كما عن مصداقية ما يدعيه أنصارها من انعدامٍ للضرر. للجواب عن هذه الأسئلة يدعونا شارل أوفراي إلى التعرف بدءاً على الطريقة التي تنتقل بها الخصائص الوراثية. والرُّسل الكيميائية والفيزيائية التي تحمل المعلومات المتعلقة بتلك الخصائص فتنقلها من جيل إلى جيل. وكيف أن عملية النقل تلك. إذ تجري عبر طريقة التشفير أي الكتابة نقلاً عن الأصل ثم الترجمة لتخليق النسخة. قد تشوبها بعض الأخطاء أثناء إحدى العمليتين. مما يفضي إلى عيوب وراثية قد تكون إيجابية فتجعل الجيل الجديد أفضل من سابقه وأقوى. كما قد تكون سلبية فينتج عنها ما يعرف بالأمراض الوراثية. هنا يتدخل العلم لتصحيح المسار أو لتفادي تلك الأخطاء. وهو ما يعني به علم الهندسة الوراثية موضوع الكتاب.

المعارف العامة
الفلسفة وعلم النفس
الديانات
العلوم الاجتماعية
اللغات
العلوم الطبيعية والدقيقة / التطبيقية
الفنون والألعاب الرياضية
الآداب
التاريخ والجغرافيا وكتب السيرة

كلمة
KALIMA

هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة
ABU DHABI TOURISM & CULTURE AUTHORITY

